

УДК 655.3

Н. Э. Трусевич

Белорусский государственный технологический университет

**ВЛИЯНИЕ ПЫЛИМОСТИ БУМАГИ
НА ОТКАЗЫ ПЕЧАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Выполнена статистическая обработка данных об отказах по причине несоответствия материалов. Установлено, что закон распределения отказов по причине несоответствия материалов является экспоненциальным.

В работе моделирование интенсивности отказов вследствие несоответствия материалов основано на рассмотрении такого свойства бумаги, как пылимость. Пыление бумаги приводит к тому, что печатная машина и помещение цеха быстро покрываются налетом пыли, что сильно затрудняет работу и увеличивает простои. Приведены значения пылимости некоторых видов бумаги. В качестве критического значения пылимости принято 25 см^{-2} , до которого наблюдается удовлетворительная интенсивность отказов. Зависимость интенсивности отказов от отклонения значения пылимости бумаги от критического описана с помощью уравнения логистической кривой. Приведены график зависимости интенсивности отказов от отклонения значения пылимости бумаги от критического и график зависимости интенсивности отказов от фактического значения пылимости бумаги.

Модель интенсивности отказов по причине несоответствия материалов описывается дифференциальным уравнением Ферхюльста – Перла. Рассмотрено влияние параметров логистической кривой на ее вид. Параметры оказывают влияние на наклон и изгиб логистической кривой, а также положение наклонного участка относительно оси абсцисс. Предложенная модель интенсивности отказов по причине несоответствия материалов на примере пылимости бумаги позволит оценивать вероятность появления отказа вследствие превышения значения пылимости над критическим.

Ключевые слова: закон распределения, интенсивность отказов, пылимость бумаги, моделирование, логистическая кривая.

N. E. Trusevich

Belarusian State Technological University

**INFLUENCE OF DUSTING OF PAPER
ON THE PRINTING EQUIPMENT FAILURE**

The article presents failure rate statistical data because of discrepancy of materials. It is established that the law of distribution of failure because of discrepancy of materials is exponential.

In this work modeling of failure rate owing to discrepancy of materials is based on consideration of such property of paper, as dusting. Dusting of paper leads to fast covering of the printing machine and premises of shop by a thin layer of dust raid that strongly complicates work and increases idle times. Values of dusting of some types of paper are given. It is accepted the critical value of dusting 25 cm^{-2} to which satisfactory failure rate is observed. Dependence of failure rate on a deviation of value of dusting of paper on the critical is described by means of the equation of a logistic curve. Failure rate — deviation of paper dusting critical value and failure rate — paper dusting actual value are shown.

The failure rate model because of discrepancy of materials is described by the differential equation of Ferkhyulst – Pearl. Influence of parameters of a logistic curve on its look is considered. Parameters have impact on an inclination and a bend of a logistic curve, as well as the position view of an inclined part about abscissa. The offered failure rate model because of discrepancy of materials on the example of dusting of paper will allow to estimate probability of failure owing to excess of dusting value over the critical.

Key words: law of distribution, failure rate, dusting of paper, modeling, logistic curve.

Введение. Технологические процессы, используемые в современном промышленном производстве, — это сложные динамические системы, в которых в едином комплексе взаимосвязаны оборудование, инструмент, обрабатываемые материалы, средства технического обслуживания, вспомогательные и транспортные устройства, а также непосредственные исполнители.

Технологический процесс должен обеспечивать заданные качество продукции и произ-

водительность труда, а также стабильность качества во времени, необходимом для выпуска продукции в требуемом объеме [1]. Отказы оборудования могут быть связаны с отказами самого оборудования, нарушениями технологии, несоответствием материалов, ошибками персонала, условиями в цехах, а также увеличивают расход материалов и затраты на изготовление продукции, снижают экономическую эффективность производства.

Статистическая обработка данных об отказах по причине несоответствия материалов. В ходе исследования были проанализированы статистические данные об отказах оборудования печатного цеха одного из ведущих полиграфических предприятий за 2004–2011 гг., зафиксированные в журналах учета технического состояния, техобслуживания и ремонтов оборудования, а также в техническом журнале контроля качества печатных форм [2].

Законы распределения отказов по причине несоответствия материалов для печатной машины (2008 г.) показаны на рис 1. Экспоненциальное распределение и близкие к нему распределения Эрланга и Вейбулла – Гнеденко, согласно графику, могут в дальнейшем рассматриваться в качестве закона распределения отказов по причине несоответствия материалов, однако, исходя из того, что параметр n в распределении Эрланга и параметр β в распределении Вейбулла – Гнеденко близки к единице, эти распределения сводятся к экспоненциальному. Таким образом, в дальнейшем можно считать, что закон распределения данного вида отказов является экспоненциальным.

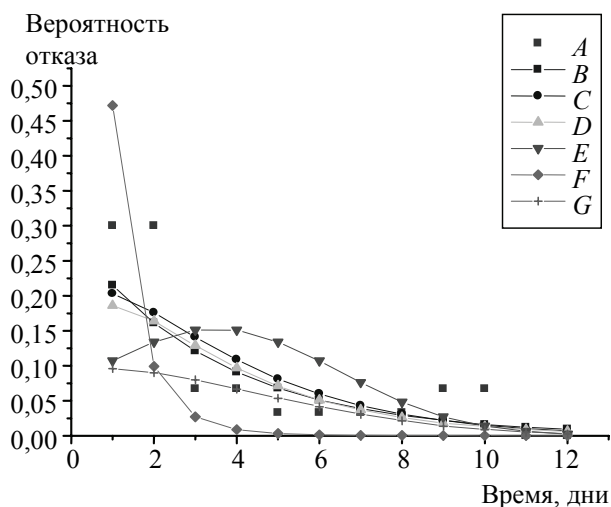


Рис. 1. Законы распределения отказов по причине несоответствия материалов:
 A — фактические данные; B — экспоненциальное;
 C — Вейбулла – Гнеденко; D — Эрланга;
 E — усеченное нормальное; F — логарифмически нормальное; G — нормальное

В табл. 1 приводятся результаты расчета параметра λ для экспоненциального закона распределения, расчетные и табличные значения критерия Пирсона — χ^2 и χ^2_{av} соответственно. Из сравнения табличных и расчетных значений критерия Пирсона видно, что для экспоненциального закона необходимое условие для подтверждения гипотезы выполняется.

Таблица 1

Параметры распределения

Оборудование	Печатная машина	
	1	2
Распределение, параметр	Экспоненциальное λ	Экспоненциальное λ
Значение параметра	0,286	0,483
Критерий Пирсона χ^2	7,163	2,299
Число степеней свободы ν	10	4
Табличное значение χ^2_{av}	18,307	9,488

Построение модели интенсивности отказов вследствие несоответствия материалов. Дефекты полиграфических материалов, их несоответствие требованиям могут привести к различного рода отказам. Важным условием для достижения высокого качества печатной продукции является стабильность свойств бумажного материала. В работе моделирование интенсивности отказов вследствие несоответствия материалов основано на рассмотрении такого свойства бумаги, как пылимость.

Пылимость — отрицательное свойство бумаги, характеризующееся отделением с ее поверхности и кромок под влиянием механических воздействий (трения, перегиба, удара или встряхивания, резки на листы определенного формата) мелких обрывков волокон, а также частиц наполнителя, проклеивающих веществ и красителей.

Качество печати, особенно иллюстрационной, при использовании пылящей бумаги резко ухудшается. Печать становится недостаточно четкой. Бумажная пыль прилипает к печатной форме, возникает необходимость часто останавливать печатные машины для чистки печатных форм и валов. Минеральная пыль вследствие своего абразивного действия разрушающим образом влияет на печатную форму, особенно при глубоком способе печати [3].

Пыление бумаги приводит к тому, что печатная машина и помещение цеха быстро покрываются налетом пыли, что сильно затрудняет работу и увеличивает простои [4].

С пылимостью бумаги и картона связаны следующие проблемы:

1) снижение производительности и нарушение стабильности печатного процесса, обусловленное необходимостью частых остановок печатной машины для удаления пыли, прилипшей к краске на форме и офсетном полотне, что приводит к увеличению отходов тиражной бумаги;

2) дефекты печатной продукции (наличие на изображении марашек, уменьшение оптической плотности, снижение четкости изображения, искажение изображения);

3) снижение тиражестойкости печатных форм;

4) изменение pH увлажняющего раствора, что нарушает стабильность печатного процесса;

5) изменение деформационных свойств офсетного полотна, что делает его непригодным для дальнейшего использования.

Несмотря на важность этого показателя для качества печати и стабильности технологического процесса печатания, он в настоящее время не нормируется в стандартах и технических условиях на печатную бумагу, хотя существует достаточно много способов оценки ее пылимости. Среди методов измерения и оценки пылимости бумаги можно выделить две основные группы: методы, основанные на отделении частиц бумажной пыли воздушной струей, и методы, связанные с отделением частиц при соприкосновении бумаги с резиной.

Существует несколько способов измерения пылимости. Например, известен способ, который заключается в механической обработке образца бумаги резиновым валиком при давлении, удалении с поверхности резинового валика оставшихся пылинок и волокон и вычислении искомой величины [4].

В работе [6] пылимость бумаги изучали с помощью прибора, моделирующего печатный процесс, с последующей статистической обработкой полученных в отраженном свете микрофотоснимков с помощью программы, которая при необходимости дает возможность редактировать снимки без изменения их информационного содержания. Программа позволяет получить характеристики пылинок в виде количества частиц пыли, суммарной площади пыли на участке исследования, дисперсности и среднего значения среднего диаметра Фере.

Значения пылимости некоторых видов бумаги, полученных в результате описанных выше экспериментов, отсортированы по возрастанию и сведены в табл. 2 [4, 5]. Пылимость бумаги измерялась числом пылинок на единицу площади бумажного листа.

Расчет диаграммы Парето произведен в табл. 3 [6]. В процессе выполнения расчета были приняты диапазоны пылимости с интервалом 5 частиц на 1 см^2 . По табл. 1 определялась частота появления значений в определенных интервалах. Далее рассчитывались относительная частота (вероятность) и интегральная вероятность.

Диаграмма приведена на рис. 2.

Как показано в табл. 2, наибольшую пылимость имеют три последних вида бумаги, которые также характеризуются сравнительно невысокими значениями гладкости. Соответственно, при печати на такой бумаге с большой вероятностью будут возникать отказы.

Таблица 2

Значения пылимости бумаги

Бумага	Среднее количество пылинок на 1 см^2
1. Мелованная матовая	—
2. Мелованная глянцевая	0,30
3. Мелованная с отделкой в виде тиснения под «лен»	0,30
4. Высокоглянцевое пленочное покрытие с одной стороны	0,50
5. Каландрированная	8,40
6. Каландрированная (газетная импортная)	8,60
7. Книжно-журнальная 1	22,44
8. Книжно-журнальная 2	22,59
9. Газетная	25,26
10. Машинной гладкости	27,10
11. Типографская № 1	34,58

Таблица 3

Расчет диаграммы Парето

№ п/п	Диапазон пылимости, см^{-2}	Частота появления значения	Вероятность значения	Интегральная вероятность
1	0–5	4	0,364	0,364
2	6–10	2	0,182	0,545
3	11–15	0	0,000	0,545
4	16–20	0	0,000	0,545
5	21–25	2	0,182	0,727
6	26–30	2	0,182	0,909
7	31–35	1	0,091	1,000
Всего		11	1,000	—

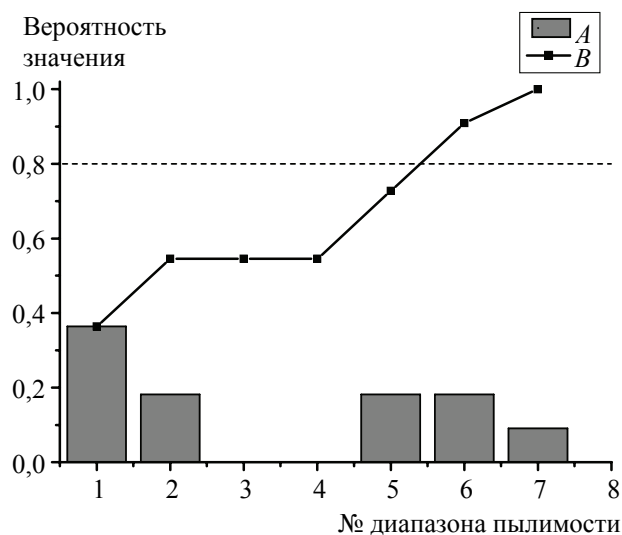


Рис. 2. Диаграмма Парето:

A — вероятность появления значения пылимости;
B — интегральная функция распределения Парето

Диаграмма на рис. 2 позволяет принять в качестве критического значения пылимости $d_k = 25 \text{ см}^{-2}$. Данному значению наиболее близко

соответствует интегральная вероятность 0,8, что требуется по принципу Парето.

Виды бумаги, у которых пылимость меньше d_k , соответственно должны давать приемлемую интенсивность отказов. При увеличении отклонения значения пылимости бумаги от критического в большую сторону интенсивность отказов, соответственно, будет возрастать. Уравнение логистической кривой позволяет описать данную зависимость:

$$\lambda(\delta_d) = \alpha \cdot \left[1 + \frac{1}{1 + 10^{a-b\delta_d}} \right], \quad (1)$$

где a и b — параметры функции.

Коэффициент α подбирается таким образом, чтобы перекрывался диапазон значений λ , полученный после статистической обработки данных об отказах этого вида. В этом случае значение α равно 0,102.

Отклонение δ_d значения пылимости бумаги от критического определяется в относительных единицах по формуле

$$\delta_d = \frac{d_\Phi - d_k}{d_k}, \quad (2)$$

где d_Φ — фактическое значение пылимости бумаги.

График зависимости интенсивности отказов при отклонении значения пылимости бумаги от критического приведен на рис. 3.

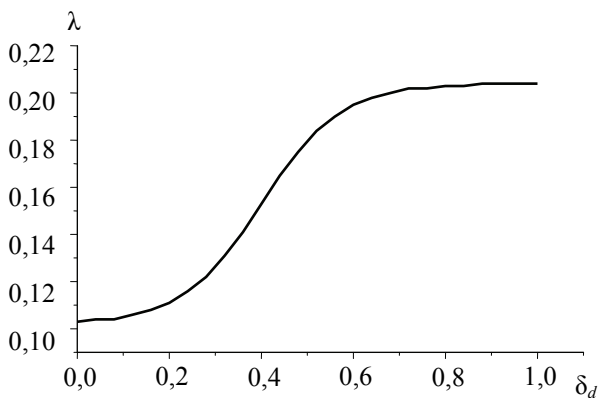


Рис. 3. График зависимости интенсивности отказов при отклонении значения пылимости от критического

График зависимости интенсивности отказов от фактического значения пылимости бумаги аналогичен предыдущему и представлен на рис. 4.

Модель интенсивности отказов по причине несоответствия материалов описывается дифференциальным уравнением Ферхюльста – Перла:

$$\frac{d\lambda}{d\delta_d} = k\lambda \cdot (A - \lambda), \quad (3)$$

где λ — интенсивность отказов при некотором значении отклонения δ_d ; A — асимптота логистической кривой; k — параметр задачи.

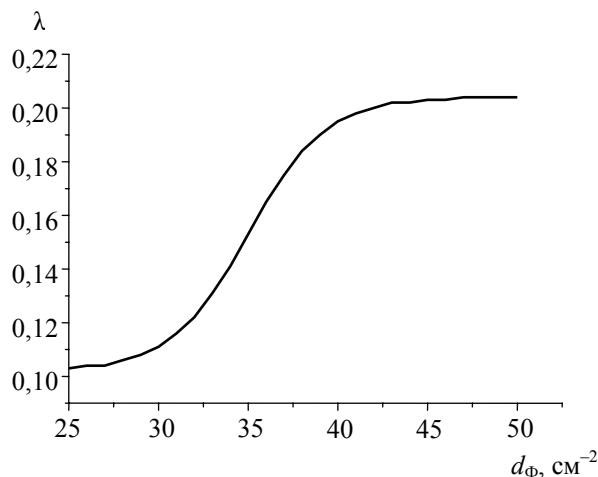


Рис. 4. График зависимости интенсивности отказов от фактического значения пылимости

Решением уравнения (3) является логистическая кривая:

$$\lambda(\delta_k) = \frac{A}{1 + \frac{A - \lambda_0}{\lambda_0} e^{-kA\delta_d}}. \quad (4)$$

Переопределяем коэффициенты:

$$C = \frac{A - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{A}{\lambda_0} - 1; \quad (5)$$

$$\lambda'(\delta_d) = \frac{\lambda(\delta_d)}{A}. \quad (6)$$

Тогда выражение для логистической кривой примет вид

$$\lambda'(\delta_k) = \frac{1}{1 + Ce^{-kA\delta_d}} \quad (7)$$

или

$$\lambda'(\delta_d) = \frac{1}{1 + 10^{a-b\delta_d}}. \quad (8)$$

Выражения, связывающие параметры a и b логистической кривой с решением уравнения (3), имеют следующий вид [7]:

$$a = \lg C = \lg\left(\frac{A}{\lambda_0} - 1\right); \quad (9)$$

$$b = kAM, \quad (10)$$

где M — модуль, равный $\lg e$.

Параметры a и b оказывают влияние на наклон и изгиб логистической кривой, а также положение наклонного участка относительно

оси абсцисс, в то время как параметры kA и λ_0 / A дают возможность судить о скорости протекания процесса и времени наступления скачка интенсивности отказов.

Влияние параметров логистической кривой на ее вид определяется исходя из поочередного их изменения. Переменным параметром сначала является параметр b ($a = \text{const}$, $b = \text{var}$), а затем параметр a ($a = \text{var}$, $b = \text{const}$). Параметры a и b подбираются так, чтобы на графике функции был хорошо виден каждый участок. Результаты исследования показаны на рис. 5, 6 и в табл. 4, 5.

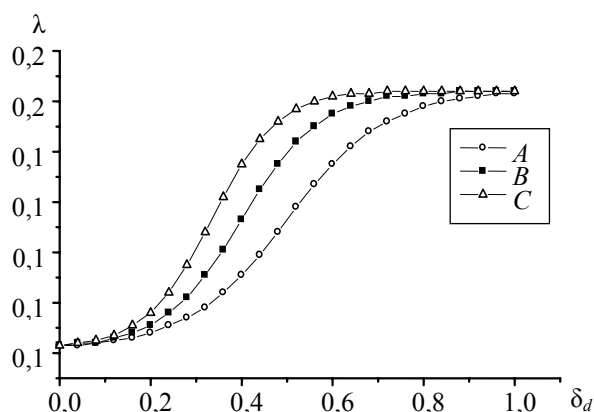


Рис. 5. Логистические кривые интенсивности отказов по причине несоответствия материалов при $a = \text{const}$, $b = \text{var}$

Таблица 4
Аналитические данные графика интенсивности отказов при $a = \text{const}$, $b = \text{var}$

Кривая	a	b	Диапазон участка кривой (δ_d) и доля участка			λ_0 / A	kA
			I	II	III		
A	2	4	0,0–0,16 (16%)	0,16–0,96 (80%)	0,96–1,0 (4%)	$1 \cdot 10^{-2}$	9,210
B		5	0,0–0,12 (12%)	0,12–0,8 (68%)	0,8–1,0 (20%)	$1 \cdot 10^{-2}$	11,513
C		6	0,0–0,12 (12%)	0,12–0,64 (52%)	0,64–1,0 (36%)	$1 \cdot 10^{-2}$	13,816

При увеличении параметра b можно увидеть, что увеличивается угол наклона участка II, немного уменьшается ширина первого участка и увеличивается ширина последнего участка кривой. Ширина наклонного участка также изменяется, однако начало этого участка остается неизменным.

Значения λ_0 / A и kA вычисляются по формулам (5) и (6) соответственно и дают возможность проанализировать кинетику процесса. Как видно, с увеличением b значения kA также возрастают, т. е. будет наблюдаться более резкий скачок интенсивности отказов при увеличении отклонения пылимости бумаги от критического значения δ_d . В данном случае скорость процесса повышается, и интенсивность отказов

раньше приблизится к некоторому максимальному значению с учетом того, что резкий рост интенсивности начинается при одном и том же значении δ_d .

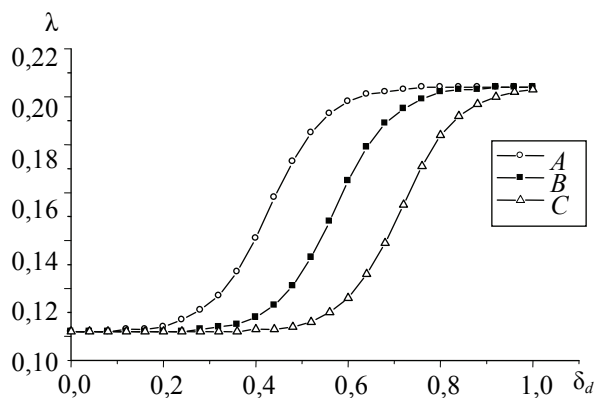


Рис. 6. Логистические кривые интенсивности отказов по причине несоответствия материалов при $a = \text{var}$, $b = \text{const}$

Таблица 5
Аналитические данные графика интенсивности отказов при $a = \text{var}$, $b = \text{const}$

Кривая	a	b	Диапазон участка кривой (δ_k) и доля участка			λ_0 / A	kA
			I	II	III		
A	3	7	0,0–0,2 (20%)	0,2–0,72 (52%)	0,72–1,0 (28%)	$1 \cdot 10^{-3}$	16,118
B	4		0,0–0,36 (36%)	0,36–0,84 (48%)	0,84–1,0 (16%)	$1 \cdot 10^{-4}$	16,118
C	5		0,0–0,48 (48%)	0,48–1,0 (52%)	1,0–1,0 (0%)	$1 \cdot 10^{-5}$	16,118

С увеличением значения параметра a , наоборот, ширина участка I увеличивается, а участка III — уменьшается. Связано это с изменением положения наклонного участка II относительно оси абсцисс. Ширина этого участка практически не изменяется, как и наклон кривой, о чем свидетельствуют данные табл. 5 и рис. 6.

Увеличение параметра a также оказывает влияние на значение λ_0 / A — оно уменьшается. Можно сказать, что повышение пылимости бумаги и, соответственно, увеличение разницы между фактическим и критическим значениями будут в меньшей степени влиять на интенсивность отказов, время наступления скачка интенсивности увеличится. То есть переход к наклонному участку и рост интенсивности отказов будут происходить при больших значениях отклонений.

Закключение. Модель интенсивности отказов по причине несоответствия материалов на примере пылимости бумаги позволит оценивать вероятность появления отказа вследствие превышения значения пылимости над критическим,

что делает возможным принятие управленческих решений, направленных на разработку мероприятий по профилактике отказов печатного

оборудования, снижение расхода материалов и затрат на изготовление продукции, повышение экономической эффективности производства.

Литература

1. Теоретическое исследование отказов печатного оборудования на стадии выведения из эксплуатации / Н. Э. Трусевич [и др.] // Труды БГТУ. 2013. № 8: Издат. дело и полиграфия. С. 39–42.
2. Теоретическая оценка надежности печатного оборудования на стадиях его жизненного цикла / М. И. Кулак [и др.] // Труды БГТУ. 2012. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 27–32.
3. Фляте Д. М. Свойства бумаги. М.: Лесная промышленность, 1986. 680 с.
4. Способ определения пылимости бумаги: пат. 2213962 Россия, МПК⁷ G 01 N 33/34 / А. А. Зуйков, В. В. Горошников, Е. Н. Осминин, Д. Ф. Мохаммадреза; заявитель ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги». № 2002128397/12; заявл. 23.10.2002; опубл. 10.10.2003 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам [Электронный ресурс] / Роспатент. 2014. Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/221/2213962.html> (дата обращения: 06.04.2014).
5. Комарова Л. Ю., Бенда А. Ф. Дефекты бумажных материалов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. № 3. С. 16–23.
6. Смольникова Г. Н., Зверев С. М., Ямпольская Н. Ю. Математико-статистические методы управления качеством для анализа тренда отказов продукции // Методы менеджмента качества. 2001. № 4. С. 30–31.
7. Трусевич Н. Э. Модель оценки влияния ошибок персонала на интенсивность отказов при выполнении технологических операций // Труды БГТУ. 2014. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 76–83.

References

1. Trusevich N. E., Kulak M. I., Sakulevich T. A., Kharitonchik I. V. Theoretical research of refusals of print equipment at the stage of removal from operation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 8: Publishing and Printing, pp. 39–42 (In Russian).
2. Kulak M. I., Trusevich N. E., Sakulevich T. A., Kharitonchik I. V. Theoretical assessment of reliability of the printing equipment at stages of its life cycle. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 9: Publishing and Printing, pp. 27–32 (In Russian).
3. Flyate D. M. *Svoystva bumagi* [Properties of paper]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1986. 680 p.
4. Zuykov A. A., Goroshnikov V. V., Osminin E. N., Mokhammadreza D. F. *Sposob opredeleniya pylimosti bumagi* [Way of determination of dusting of paper]. Patent RF, no. 2213962. 2002.
5. Komarova L. Yu., Benda A. F. Defekty bumazhnykh materialov. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of theTula State University. Technical science], 2013, no. 3, pp. 16–23 (In Russian).
6. Smol'nikova G. N., Zverev S. M., Yampol'skaya N. Yu. Mathematical and statistical methods for quality control analysis of the trend of production failures. *Metody menedzhmenta kachestva* [Quality management methods], 2001, no. 4, pp. 30–31 (In Russian).
7. Trusevich N. E. Model of an assessment of influence of errors of the personnel on failure rate when performing technological operations. *Trudy BGTU* [Proceedings of of BSTU], 2014, no. 9: Publishing and Printing, pp. 76–83 (In Russian).

Информация об авторе

Трусевич Надежда Эдуардовна — кандидат экономических наук, доцент кафедры полиграфических производств, Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: trusevich@belstu.by

Information about the author

Trusevich Nadezhda Eduardovna — Ph. D. Economics, assistant professor of the Department of Printing Technologies, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: trusevich@belstu.by

Поступила 11.03.2015